

MAPEAMENTO DA UTILIZAÇÃO DOS MÉTODOS/ALGORITMOS APLICADOS NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO

Taciana Mareth

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio
Departamento de Engenharia Industrial
Marques de São Vicente, 225 – 950 L – Gávea – RJ, Brasil – CEP: 22.453-900
tacianamareth@yahoo.com.br

Nélio Domingues Pizzolato

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio
Departamento de Engenharia Industrial
Marques de São Vicente, 225 – 950 L – Gávea – RJ, Brasil – CEP: 22.453-900
ndp@puc-rio.br

RESUMO

O objetivo geral deste estudo consiste em mapear a utilização dos métodos/algoritmos aplicados na resolução de problemas de localização nos trabalhos apresentados no Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional no período de 5 anos - 2006 a 2010. Primeiramente, a partir da população de 1543 artigos, buscou-se, por meio dos anais de cada evento, trabalhos com as palavras-chave: problemas de localização, p-locais e p-medianas. Com uma amostra resultante de 43 artigos, foram identificados os métodos/algoritmos e, em seguida, por meio da análise de conteúdo, interpretaram-se os dados. Na maioria dos estudos, seus autores asseguram que os resultados foram satisfatórios e que os métodos/algoritmos mais utilizados nos estudos da amostra foram três: metaheurística GRASP, algoritmo genético (AG) e método de *clustering search* (CS).

PALAVRAS CHAVE. Localização. Algoritmos. Mapeamento de métodos.

Área principal (indique, em ordem de prioridade a área de conhecimento de seu artigo pois o sistema JEMS coloca em ordem alfabética)

ABSTRACT

The objective of this study is to survey the use of methods or algorithms applied to the solution of location problems in the papers presented in the Brazilian Symposium of Operations Research along the last 5 years – 2006 through 2010. Firstly, considering the universe of 1,543 articles, published in the annuals of each event, a search was made for these keywords: location problem, p-locals and p-median. The search produced a sample of 43 articles in which methods and algorithms employed have been identified. Next, through evaluation of contents, data have been collected. In the majority of the studies their authors assert that the results were satisfactory and the methods or algorithms more extensively used in the studies included in the sample were: the GRASP metaheuristic; the genetic algorithm and the clustering search.

KEYWORDS. Location. Algorithms. Methods mapping.

Main area (inform by priority the área of the article because JEMS system makes the classification alphabetically)

1. INTRODUÇÃO

Os métodos e técnicas da Pesquisa Operacional (PO) são ferramentas importantes na solução de problemas de engenharia e de planejamento. Tais ferramentas encontram aplicação crescente nos diversos setores da economia, sendo que vários exemplos podem ser encontrados no Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO).

Dentro da Pesquisa Operacional existem inúmeras áreas de interesse e, dentre elas, os problemas de localização. Esses problemas “tratam de decisões sobre onde instalar unidades de serviço ou, simplesmente, facilidades, supondo que os demandantes, ou clientes, devem ser atendidos de forma a otimizar algum critério” (DREZNER, 1995).

“Conceitualmente, o problema de localização é mais abrangente do que determinar a localização de facilidades, pois do ponto de vista da logística, outros aspectos costumam ser colocados como, por exemplo, a quantidade, a capacidade, a funcionalidade, o serviço ao cliente, as fontes de abastecimento, as regiões de atendimento etc” (PIZZOLATO, RAUPP e ALZAMORA, 2012, p. 14).

A escolha da localização dessas facilidades (escolas, lojas, depósitos, etc) é uma das decisões estratégicas mais importantes realizadas pelos gestores das empresas e, caso esta escolha seja mal feita, pode ser bastante difícil voltar atrás. Desta forma, para auxiliar nessa tomada de decisão, esses problemas de localização podem ser modelados matematicamente e solucionados por meio de *softwares*.

Esses modelos “são representações simplificadas da realidade que preservam, para determinadas situações e enfoques, uma equivalência adequada” (GOLDBARG e LUNA, 2005). Para resolver estes problemas de localização são utilizados vários métodos/algoritmos e, geralmente, nessas aplicações, a viabilidade é avaliada tanto da formulação do problema quanto a computacional são avaliadas. Assim, o desafio consiste em escolher um método/algoritmo adequado para a resolução dos problemas, ou seja, que apresente viabilidade computacional.

Neste contexto, o objetivo geral deste estudo fundamenta-se em mapear a utilização dos métodos/algoritmos aplicados na resolução dos problemas de localização de modo a também identificar os mais utilizados, os setores em que são aplicados e a sua eficiência. Para tanto, este estudo está dividido em 4 Seções: introdução, metodologia da pesquisa, análise dos resultados e conclusão.

2. METODOLOGIA DA PESQUISA

Esta seção apresenta a metodologia deste estudo, evidenciando a classificação, o plano de coleta de dados, limitações da pesquisa e a interpretação de dados.

2.1 Classificação

Classifica-se o presente estudo como documental e descritivo. Para a realização desta pesquisa foram selecionados, por meio da observação, artigos no Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional no período de 2006 a 2010. Neste contexto, esta pesquisa classifica-se como documental, pois, conforme Martins e Theóphilo (2009, p. 55), são aquelas que “empregam fontes primárias e que ainda não foram objeto de análise”.

As pesquisas descritivas “têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou o estabelecimento de relações entre as variáveis” (GIL, 2009, p. 28). Neste caso, a presente pesquisa descreve a utilização dos métodos/algoritmos que foram aplicados na resolução de problemas de localização.

Por outro lado, embora o tema localização esteja presente em todo congresso vinculado à gestão e operação de recursos, o SBPO seria aquele, a nosso ver, com maior autoridade e aderência ao tema.

2.2 Plano de Coleta e de Análise e Interpretação dos Dados

Para atingir o objetivo proposto neste estudo, qual seja, mapear a utilização dos métodos/algoritmos aplicados na resolução de problemas de localização, primeiramente,

realizou-se um mapeamento dos artigos do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional num período de 5 anos (2006 a 2010).

A partir da população de artigos publicados, selecionaram-se por meio dos mecanismos de busca dos anais de cada evento, artigos com as palavras-chave: problemas de localização, p-locais e p-medianas (problema clássico de localização). Evidencia-se que, nos anais dos eventos, foram encontrados artigos que continham somente o resumo. Desta forma, artigos que não se encontravam na íntegra foram excluídos da amostra, pois não apresentavam todas as informações necessárias.

A respectiva população e amostra deste estudo está descrita no Quadro 1.

Quadro 1 – Identificação da população e amostra no período de 2006 a 2010

Identificação dos artigos	2006	2007	2008	2009	2010	Total
População (Artigos Publicados)	283	317	327	268	348	1543
Amostra (identificada pelas palavras-chave)	7	8	8	7	13	43

Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se que, a amostra total foi de 43 artigos, sendo que no ano de 2010 obteve-se a maior quantidade – 13 artigos. A partir desta amostra, procedeu-se à análise e interpretação dos dados, tendo a análise de conteúdo como base. Segundo Martins e Theóphilo (2009, p. 98), a análise de conteúdo “pode ser aplicada virtualmente a qualquer forma de comunicação: artigos da imprensa, livros, material divulgado em sites institucionais etc”.

Os mesmos autores afirmam que: “geralmente a aplicação desta técnica acontece após, ou em conjunto, com uma pesquisa documental [...]” e “envolve duas etapas: o inventário (isolamento das unidades de análise: palavras, temas, etc.) e a classificação das unidades comuns, revelando as categorias (colocação em gavetas)”.

A partir dos 43 artigos selecionados, foi realizada a análise de conteúdo, ou seja, uma leitura individual de cada artigo, onde coletaram-se as variáveis (setor/amostra, ano, instituições, localização de, métodos/algoritmos e os principais resultados de aplicação dos métodos/algoritmos) e elaboraram-se quadros, seguindo o padrão apresentado no Quadro 2. Evidencia-se que, na maioria dos artigos, o item setor/amostra não foi identificado de forma clara e, portanto, os próprios autores deste estudo realizaram essa classificação.

Quadro 2 – Coleta das variáveis da pesquisa

Setor/Amostra	Ano	Instituições dos Autores	Localização de	Método/Algoritmos	Principais Resultados de aplicação dos métodos/algoritmos

Fonte: Elaborado pelo Autor

Posteriormente, a partir desse mapeamento/coleta das variáveis, os métodos/algoritmos foram analisados, de modo a também identificar os mais utilizados relacionados com os setores e a sua eficiência. Por fim, elaboraram-se quadros e gráficos de modo a demonstrar essas relações.

3. INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta Seção apresenta a interpretação e análise dos resultados deste estudo. Para atingir o objetivo proposto, mapear a utilização dos métodos/algoritmos aplicados na resolução de problemas de localização, esta Seção está dividida em duas: identificação da amostra, mapeamento dos métodos/algoritmos.

3.1 Identificação da amostra

Esta subseção descreve a amostra dos 43 artigos do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional no período analisado – 2006 a 2010. No Quadro 3 apresenta-se a quantidade de artigos (amostra) distribuídos por setores/amostra.

Quadro 3 – Distribuição por setores/amostras de aplicação

Setor/Amostra	2006	2007	2008	2009	2010	Total	%
Informação	1	1	1	-	1	4	9%
Educação	-	-	-	-	1	1	2%
Energia Elétrica	1	2	1	-	3	7	16%
Espaço Aéreo	1	1	1	1	1	5	12%
Estacionamento rotativo e regulamentado	1	-	-	-	-	1	2%
Farmácias	1	-	-	-	-	1	2%
Indústria de esmagamento de soja	-	-	-	-	1	1	2%
Indústria de aves	-	1	-	-	-	1	2%
Logística reversa de pneus	-	-	1	-	-	1	2%
OR-Library	-	-	1	1	-	2	5%
Petróleo e Gás	-	-	-	-	1	1	2%
Resíduos sólidos	-	-	-	1	-	1	2%
Segurança Pública	-	-	-	-	1	1	2%
Terminais Marítimos	-	-	-	1	1	2	5%
Transporte (aéreo, privado e público)	-	2	1	-	1	4	9%
Não identificados	1	1	1	-	1	4	9%
Outros	1	-	1	3	1	6	14%
Total	7	8	8	7	13	43	100%

Fonte: Elaborado pelo Autor

No Quadro 3, observa-se que, do total da amostra (43 artigos), as maiores aplicações dos problemas de localização foram no setor/amostra de energia elétrica, espaço aéreo, transporte e comunicação, com 16%, 11%, 9% e 9% respectivamente. Evidencia-se que, em 9% (4 artigos), não foram identificados os setores/amostra da aplicação.

Apresenta-se, no Quadro 4, todas as Instituições vinculadas aos autores dos artigos da amostra desta pesquisa, num total de 110 para o período analisado. Observa-se que as maiores participações são do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, da Universidade Federal Fluminense e da Universidade Estadual de Campinas, com 12%, 9% e 8%, respectivamente.

Quadro 4 – Instituições dos autores dos artigos

Instituições	2006	2007	2008	2009	2010	Total	%
Centro de Guerra Eletrônica - COMGAR - Brasília		1				1	1%
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais			3			3	3%
Escola Municipal Planalto dos Pinheiros - PR	1					1	1%
Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão		2				2	2%
Instituto Militar de Engenharia - RJ					3	3	3%
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE	3	3	1	1	5	13	12%
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - SP	1					1	1%
Subdivisão de Sistemas de Apoio a Decisão (EGI-A) - SP			3	2	2	7	6%
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro		2				2	2%
Universidade Candido Mendes	2	2				4	4%
Universidade Católica de Goiás	1					1	1%
Universidade de Fortaleza		2				2	2%
Universidade de Passo Fundo				3		3	3%
Universidade de São Paulo					2	2	2%
Universidade de Taubaté					1	1	1%

Universidade Estadual de Campinas		6	3			9	8%
Universidade Estadual do Norte Fluminense			3			3	3%
Universidade Estadual Paulista	1		1	1	5	8	7%
Universidade Federal da Paraíba	2		1			3	3%
Universidade Federal de Minas Gerais				3	3	6	6%
Universidade Federal de Pernambuco					2	2	2%
Universidade Federal de Santa Maria		1				1	1%
Universidade Federal de Viçosa		1			3	4	4%
Universidade Federal do Ceará			2			2	2%
Universidade Federal do Espírito Santo				2	1	3	3%
Universidade Federal do Rio de Janeiro					2	2	2%
Universidade Federal do Paraná	4	1	1		1	7	6%
Universidade Federal do Rio Grande do Norte					2	2	2%
Universidade Federal Fluminense				6	4	10	9%
Total	15	21	18	18	36	108	100%

Fonte: Dados da pesquisa

Após a identificação de alguns itens da amostra da pesquisa, procedeu-se à identificação e ao mapeamento dos métodos/algoritmos – Seções 3.2 e 3.3.

3.2 Identificação dos métodos/algoritmos em cada setor/amostra

Esta subseção identifica os métodos/algoritmos em cada setor/amostra deste estudo. Primeiramente, no Quadro 5, foram identificadas as quantidades de métodos/algoritmos que cada estudo utilizou para solucionar os problemas de localização.

Quadro 5 – Quantidade de métodos/algoritmos utilizados em cada artigo

Setor/Amostra	Quantidade de Método/Algoritmos utilizados em cada artigo		
	1	2	3
Informação	2	2	-
Educação	1	-	-
Energia Elétrica	2	5	-
Espaço Aéreo	5	-	-
Estacionamento rotativo e regulamentado	-	-	1
Farmácias	1	-	-
Indústria de esmagamento de soja	-	1	-
Indústria de aves	1	-	-
Logística reversa de pneus	1	-	-
OR-Library	1	-	1
Petróleo e Gás	1	-	-
Resíduos sólidos	1	-	-
Segurança Pública	-	1	-
Terminais Marítimos	-	2	-
Transporte (aéreo, privado e público)	1	1	2
Não identificado	2	2	-
Outros	2	2	2
Total	21	16	6

Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se, no Quadro 5, que em 21 artigos (49% da amostra) foram utilizados somente um método/algoritmo para a resolução dos problemas de localização. A combinação de dois e

três métodos/algoritmos foram apresentados em 16 e 6 artigos, ou seja, em 37% e 14% da amostra, respectivamente.

Após essa identificação, evidenciam-se os métodos/algoritmos mais utilizados para a resolução dos problemas de localização, conforme apresenta o Gráfico 1.

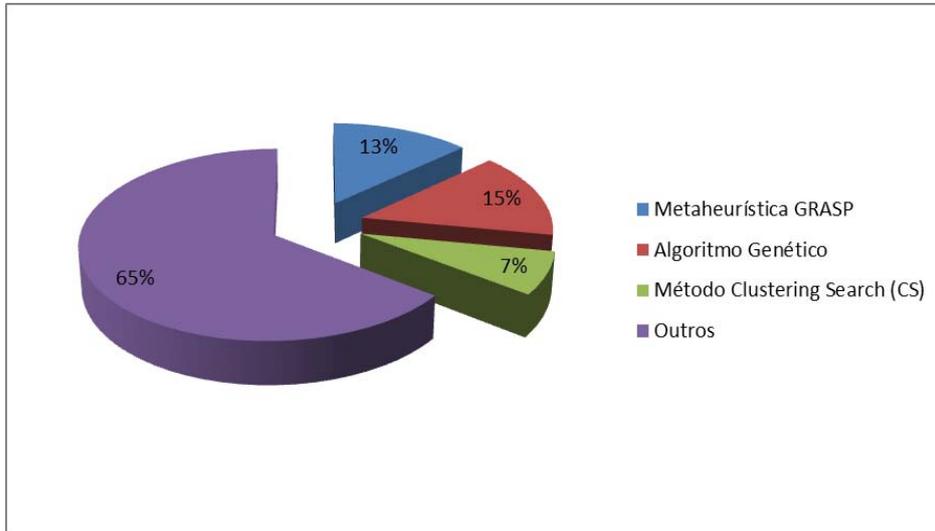


Gráfico 1 – Métodos/algoritmos mais utilizados

Fonte: Dados da pesquisa

A partir dos 43 artigos que fazem parte da amostra deste estudo, evidenciam-se que os métodos/algoritmos mais utilizados são três: metaheurística GRASP, algoritmo genético (AG) e método de *clustering search* (CS). A maior aplicação foi do AG, seguida da metaheurística GRASP e do CS, com 5 (7%), 9 (13%) e 10 (15%) aplicações. Os outros casos, 65% identificados no Gráfico 1, tiveram de 1 a 3 aplicações de métodos/algoritmos.

3.3 Mapeamento dos métodos/algoritmos para os setores com maior aplicação

Esta subseção apresenta um mapeamento dos métodos/algoritmos para os setores/amostras que tiveram as maiores aplicações dos problemas de localização, quais sejam: energia elétrica, espaço aéreo, transporte e informação, com 16%, 11%, 9% e 9% respectivamente.

Com o intuito de analisar os métodos/algoritmos relacionados com esses setores/amostras e a sua eficiência na aplicação, foram elaborados os Quadros 6 a 9.

No Quadro 6 apresenta-se detalhes dos 4 trabalhos identificados, juntamente com os métodos/algoritmos utilizados no setor/amostra de informação.

Quadro 6 – Métodos/algoritmos utilizados no setor/amostra de informação

Ano	Localização de	Método/Algoritmos	Principais Resultados de aplicação dos métodos/algoritmos
2006	Antenas de telecomunicações	Duas heurísticas baseadas na metaheurística GRASP: GRASP1 e GRASP2	Os resultados computacionais mostraram que a heurística GRASP2 foi bastante superior que a versão básica GRASP1.

2007	Antenas de telecomunicações	Metaheurísticas GRASP e Algoritmo Genético	Analisando os resultados computacionais, é possível observar que a heurística GRASP e o Algoritmo Genético geraram as melhores soluções em 15 e 23 problemas, respectivamente. A melhoria média obtida pelo Algoritmo Genético com relação à heurística GRASP, nos 42 problemas, foi de 0.62%.
2008	Antenas de transmissão para internet a rádio	Problema de Localização de Máxima Cobertura (PLMC)	Pretende-se validar o modelo de localização de antenas proposto utilizando Algoritmo Genético.
2010	Clientes da rede – os Access Points, ou APs, também classificados como roteadores	Algoritmo que elabora o planejamento da rede mesh, levando em conta um parâmetro de QoS: a taxa de perda de pacotes. O algoritmo baseia-se na simulação Monte Carlo, associada ao modelo hipercubo de filas.	Os estudos de QoS em redes mesh ainda necessita de um aprofundamento, já que serviços multimídia na Internet estão sendo cada vez mais utilizados.

Fonte: Dados da pesquisa

No Quadro 6 observa-se que a metaheurística GRASP foi utilizada em dois estudos do setor de informação: em 2006 e 2007. Além desta, os outros métodos/algoritmos utilizados para resolver os problemas de localização foram: algoritmo genético e o algoritmo que elabora o planejamento da rede *mesh*.

Evidencia-se que, com exceção do estudo de 2008 – que validará o modelo utilizando o algoritmo genético - em todos os artigos, os resultados alcançados foram considerados por seus autores como satisfatórios na aplicação dos métodos/algoritmos. Por exemplo, no segundo estudo – 2007 (Quadro 6), os autores afirmam que

“Na abordagem do problema procurou-se aproximar mais a situações reais onde em muitos casos é desconhecido o número de facilidades a serem instaladas e tem-se a presença de obstáculos interferentes. [...] Os resultados computacionais mostram que as heurísticas são capazes de gerar boas soluções aproximadas” (MARQUES, ARROYO e VIANNA, 2007, p. 12).

No Quadro 7 apresenta-se os métodos/algoritmos utilizados no setor/amostra de energia elétrica, um total de 7 trabalhos.

Quadro 7 – Métodos/algoritmos utilizados no setor/amostra de energia elétrica

Ano	Localização de	Método/Algoritmos	Principais Resultados de aplicação dos métodos/algoritmos
2006	Regiões de atendimento	Método Exato e Método Heurístico – algoritmo genético	Os resultados obtidos neste trabalho mostraram-se satisfatórios tanto para o método exato quanto para o heurístico, pois os novos agrupamentos sugeridos mostraram-se mais eficientes do que os vigentes, determinados manualmente e de maneira empírica.

2007	Reguladores de tensão	Algoritmo guloso e um algoritmo memético	A metodologia mostrou-se promissora, observando a boa qualidade dos resultados obtidos quanto os níveis de tensão. Na primeira fase é definida uma solução factível do problema. Esta solução é melhorada na segunda fase pela aplicação de um algoritmo evolutivo, em particular um algoritmo memético.
	P lotes de faturamento	Dois métodos: Ahmadi & Osman (2005) – combinação de GRASP (Feo & Resende, 1989) com Adaptive Memory Programming – AMP (Glover, 1997) e Osman & Christofides (1994).	Os resultados apresentados sugerem que há um certo compromisso entre eficiência e tempo computacional quando são comparados os métodos propostos por Ahmadi & Osman (2005) e Osman & Christofides (1994). Embora o primeiro tenha um conjunto aproximado de Pareto de melhor qualidade, o tempo computacional requerido é significativamente maior que o segundo.
2008	Transformadores	Algoritmo guloso	A metodologia apresentada pode ser usada para auxiliar no desenvolvimento dos algoritmos relacionados aos estudos anteriormente comentados.
2010	Chaves seccionadoras em redes primárias de distribuição	Processo heurístico juntamente com um sistema Fuzzy e a metaheurística GRASP	O método proposto pode ser utilizado para alocação de chaves seccionadoras em redes reais com diferentes topologias e dimensões (robustez e alto desempenho computacional).
	Medidores em redes elétricas	Metaheurística colônia de formigas e heurística construtiva	O método proposto apresentou excelente desempenho, tendo sido capaz de obter soluções de excelente qualidade em tempos computacionais reduzidos.
	Localização e a potência do capacitor para melhorar o nível de tensão do sistema elétrico	PLIM – Programação Linear Inteira Mista	Os estudos de caso demonstraram a validade da formulação adotada, apresentando desvios considerados adequados para atender o propósito do modelo.

Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se que somente dois métodos/algoritmos foram utilizados de forma repetida: algoritmo guloso em 2007 e 2008 e, GRASP em 2007 e 2010. Apesar de serem aplicados no mesmo setor – energia elétrica (Quadro 7), a maioria dos artigos utilizaram métodos/algoritmos diferentes para resolver os problemas de localização, sendo: método exato, algoritmo genético, algoritmo memético, fuzzy, metaheurística colônia de formigas, dentre outros.

Evidencia-se que todos obtiveram resultados satisfatórios na aplicação dos métodos/algoritmos. Por exemplo, no primeiro estudo de 2010 (Quadro 7), os autores comentam que o algoritmo apresentou robustez e alto desempenho computacional. Além disso, afirmam que:

“os testes realizados além de possibilitar checar as funcionalidades existentes no procedimento proposto, também permitiram verificar uma característica importantíssima em qualquer algoritmo de otimização: a generalidade. O

método proposto pode ser utilizado para alocação de chaves seccionadoras em redes reais com diferentes topologias e dimensões” (LEITE, MATHIAS NETO e MANTOVANI, 2010, p. 740).

No Quadro 8 apresenta-se detalhes dos 5 trabalhos identificados com os métodos/algoritmos utilizados no setor/amostra de espaço aéreo e, observa-se que a metaheurística GRASP foi utilizada em três estudos do setor/amostra espaço aéreo: 2008, 2009 e 2010. Além desta, outro método/algoritmo utilizado para resolver os problemas de localização foi o problema de localização de máxima cobertura (MCLP). Evidencia-se que, todos os estudos obtiveram resultados satisfatórios na aplicação dos métodos/algoritmos, apesar de identificarem algumas limitações nos resultados.

Quadro 8 – Métodos/algoritmos utilizados no setor/amostra de espaço aéreo

Ano	Localização de	Método/Algoritmos	Principais Resultados de aplicação dos métodos/algoritmos
2006	Facilidades de vigilância	Problema de Localização de Máxima Cobertura (MCLP) - Problema de Programação Linear Inteiro Binário	Os resultados obtidos mostraram que, sob determinadas circunstâncias, restrições adicionadas ao MCLP original conferem um maior realismo à formulação matemática utilizada.
2007	Esquadrões de interceptação de aeronaves na Região Amazônica	Problema de Localização de Máxima Cobertura (MCLP)	Os resultados auxiliam o tomador de decisão, no sentido de fornecer condições de avaliar a perda de cobertura que um determinado padrão logístico imposto pode gerar na solução obtida, em comparação com o MCLP original.
2008	Radares	GRASP	Sendo um estudo preliminar, foram realizados poucos testes computacionais que, apesar de limitados, mostraram a viabilidade de utilizar a formulação proposta para tratar o problema integrado (problema de localização de máxima cobertura integrado ao roteamento).
2009	Radares	GRASP	Os resultados, apesar de limitados, mostraram que o método proposto encontra boas soluções para o problema integrado num tempo computacional aceitável.
2010	Facilidades de máxima cobertura - radares de vigilância	Processo de Busca Adaptativo Aleatório Guloso (GRASP)	Novos testes serão realizados e nossa expectativa é que o método proposto seja capaz de encontrar boas soluções para o problema num tempo computacional aceitável, como ocorreu nos testes apresentados.

Fonte: Dados da pesquisa

No Quadro 9 apresenta-se detalhes dos 4 trabalhos identificados com os métodos/algoritmos utilizados no setor/amostra de transportes (aéreo, privado e público).

Quadro 9 – Métodos/algoritmos utilizados no setor/amostra de transportes

Setor	Ano	Localização de	Método/Algoritmos	Principais Resultados de aplicação dos métodos/algoritmos
Transporte Aéreo	2007	Hubs	Algoritmo genético	Os resultados obtidos foram bastante

				satisfatórios.
Transporte Privado	2007	Pontos de parada de ônibus	Heurísticas de Teitz e Bart e de Gillett e Johnson - Kolesar e Walker (1974)	A validação maior da aplicabilidade e qualidade das soluções apresentadas pode ser constatada nos resultados obtidos.
	2008	Número de veículos, pontos de parada e sequência dos pontos de parada	Teitz e Bart para definição das p–medianas; em seguida, o algoritmo de Designação de Gillet e Johnson Modificado para a formação dos agrupamentos, e, por fim, o algoritmo Ant Colony Optimization (ACO) para a construção das rotas em cada agrupamento.	Os resultados obtidos em comparação com os adotados pela empresa se mostraram melhores.
Transporte Público	2010	Concentradores aplicados ao transporte público	Duas variantes do método de decomposição de Benders, para resolver problemas de PLIM	Os dois algoritmos se mostram bastante competitivos frente ao software comercial CPLEX.

Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se que a heurística de Teitz e Bart foi utilizada em 2007 e 2008. Apesar de serem aplicados no mesmo setor – transporte (Quadro 9), os outros dois artigos utilizaram algoritmo genético e o método de Benders.

Evidencia-se que todos obtiveram resultados satisfatórios na aplicação dos métodos/algoritmos. Por exemplo, no estudo de 2010 (Quadro 9), os autores fazem um comparativo dos métodos de decomposição de Benders com o CPLEX e afirmam que “as duas implementações se mostraram bastante competitivas frente ao software CPLEX, confirmando a aplicabilidade do método de decomposição de Benders para resolver o problema *tree of hub location*” (SÁ, CAMARGO e MIRANDA JUNIOR, 2010, p. 2425).

Analisando os artigos da amostra e relacionando com os métodos/algoritmos mais utilizados (GRASP, AG e CS), evidencia-se o estudo de 2010 - localização de berços, onde a proposta foi uma aplicação do método híbrido *Clustering Search* (CS), utilizando o *Simulated Annealing* (SA) como gerador de soluções. Os autores afirmam que

“o CS mostrou ser adequado e eficiente na localização de regiões promissoras por meio do enquadramento dessas em *clusters*. Dessa forma, percebe-se que o CS atuou como uma alternativa para acelerar a obtenção de boas soluções” (OLIVEIRA, MAURI e LORENA, 2010, p. 1661).

Em outro estudo com a mesma hibridização (CS e SA), Almeida e Senne (2010, p. 12) comentam que “pelos testes realizados pode-se concluir que a aplicação da busca por agrupamentos permite obter soluções de melhor qualidade, no entanto a escolha de uma boa metaheurística para trabalhar com esse método é de grande importância neste trabalho analisou-se os resultados gerados por um método *simulated annealing* devido as suas simplicidades de entendimento e implementação”.

4. CONCLUSÕES

Esta seção apresenta as considerações finais e algumas propostas de estudos futuros. Observa-se que o objetivo proposto neste trabalho, mapear a utilização dos métodos/algoritmos aplicados na resolução de problemas de localização, foi atingido a partir da análise de conteúdo em 43 artigos da amostra (selecionada em artigos do SBPO no período de 5 anos).

Foi possível evidenciar que, apesar de utilizarem métodos/algoritmos diferentes para o problema de localização, a maioria dos estudos apresentou resultados satisfatórios e tempo computacional baixo. Os métodos/algoritmos mais utilizados nos estudos da amostra foram três: metaheurística GRASP, algoritmo genético (AG) e método de *clustering search* (CS). A maior aplicação foi do AG, seguida da metaheurística GRASP e do CS, com 5 (7%), 9 (13%) e 10 (15%) aplicações. Os outros casos tiveram de 1 a 3 aplicações de métodos/algoritmos.

Outra constatação é que, por mais que tenha havido aplicações de métodos/algoritmos em diferentes setores da economia, não há simetria nas utilizações dos mesmos relacionados ao mesmo setor. Além disso, apesar de resultados apresentados como satisfatórios, 49%, 37% e 14% dos estudos utilizaram um, dois e três métodos/algoritmos para a resolução dos problemas de localização em diversos setores/amostras, como se constatou. Por fim, evidencia-se que a escolha e aplicação dos métodos/algoritmos, na maioria dos casos, foi baseada na revisão de literatura de outros casos semelhantes já publicados.

Ressalta-se que este estudo apresenta algumas limitações em relação às buscas efetuadas, tais como: a busca se restringiu a alguns termos (listados na metodologia), artigos que apresentaram somente resumo (foram excluídos da amostra) e ausência de sítios do evento.

Certamente, o presente estudo pode ser expandido tendo como base de pesquisa outros eventos e revistas (relacionadas no Qualis) que sejam referência na área de pesquisa operacional.

REFERÊNCIAS

Almeida, W. G.; Senne, E. L. F. (2010). Metaheurística híbrida com busca por agrupamento aplicado ao problema de localização de hubs com restrição de capacidade. XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, Brasil.

Ahmadi, S., Osman, I.H. (2005). *Greedy random adaptive memory programming search for the capacitated clustering problem*. *European Journal of Operational Research*, 2005, 162(1):30–44.

Drezner, Z. (1995). *Facility Location: A Survey of Applications and Methods*. Springer, New York.

Gil, A. C. (2009). *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. São Paulo: Atlas, 2009.

Goldberg, M. C. e Luna, H. P. L. (2005) *Otimização Combinatória e Programação Linear: modelos e algoritmos*, Elsevier, Rio de Janeiro.

Kolesar, P.; Walker, W. (1974). *An algorithm for the dynamic relocation of fire companies*. *Operations Research*, v. 22, n. 2, p. 249-274, mar./abr.

Lamosa, M. J. P., Marchi, M. M. (2009). Análise da formulação e resolução do problema de localização de máxima cobertura integrado ao problema de roteamento através do GRASP. XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Porto Seguro, Bahia, Brasil.

Leite, J. B.; Mathias Neto, W. P.; Mantovani, J. R. S. (2010). Alocação otimizada de chaves de manobra para restauração de redes de distribuição de energia elétrica. XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, Brasil.

Marques, T. B., Arroyo, J. E. C., Vianna, D. S. (2007). Heurísticas para o problema de alocação de antenas de transmissão. XXXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Fortaleza, Ceará, Brasil.

Martins, G. A.; Theóphilo, C. R. (2009). *Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas*. São Paulo: Atlas.

Oliveira, R. M.; Mauri, G. R.; Lorena, L. A. N. (2010) *Clustering search* aplicado ao problema de alocação de berços. XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, Brasil.

Osman, I., Christofides, N. (1994). *Capacitated clustering problems by hybrid simulated annealing and tabu search*. *International Transactions in Operations Research*. 1(3): 317–36.

Pizzolato, N. D, Raupp, F. M. P, Alzamora, G. S. (2012). Revisão de desafios aplicados em localização com base em modelos da p-mediana e suas variantes. Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento. Rio de Janeiro, v.4, n.1, p. 13-42, Janeiro a Abril.

Sá, E. M.; Camargo, Ricardo S.; Miranda Junior, G.. (2010). Redes eixo-raio aplicada ao transporte público. XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, Brasil.